Corrosión Atmosférica en ambiente marino polar
Aerosol marino fluyendo en el viento

Susana Rivero
Universidad de la República
srivero@fing.edu.uy

Resumen

Se trabaja durante un período experimental de 6 años, a la luz de un experimento tipo para la calibración de la agresividad atmosférica de un sitio ubicado en una isla antártica. Se producen datos correspondientes a la velocidad de corrosión de chapa de acero sin alear, velocidad de deposición de ión cloruro (Si), velocidad y la dirección correspondiente del viento, amén de otros parámetros de interés específico. Se desarrolla un método de vinculación de los diferentes niveles de salinidad hallados, con los umbrales necesarios de viento en términos de velocidad, dirección de circulación y tiempo de ocurrencia, trabajando el concepto escalar de "recorrido del viento" (R), fundamentalmente aplicable a predicciones sobre sistemas de similitud geométrica (ejemplo: líneas de transmisión, columnas, etc.). Se indaga la influencia de la condición ambiental de inicio del experimento en la velocidad de corrosión al cabo del primer año, así como la influencia del paso del tiempo en la atenuación de la misma. Los resultados sugieren que la salinidad ambiente es aportada por fenómenos eólicos de diferente naturaleza y orientación del flujo, en una relación compleja, no lineal. Resumidamente se pueden distinguir dos grandes tipos de comportamiento: uno que atiende a umbrales de velocidad de deposición de salinidad, Si: 50-300 mg/m^2 día, consistente con una amplia variedad de historias de viento, y otro en el cual Si yace en el intervalo 300-700 mg/m^2.día, en donde también intervienen vientos costeros de alta intensidad (40-61, 60-80 km/h, escala Beaufort 6-9) y cierta persistencia, superponiendo fenómenos transitorios a lo que podría denominarse el flujo regular del viento. Desde el punto de vista de la respuesta de los sustratos de acero al desgaste se observa una inhibición de la velocidad de corrosión al cabo de un año entre 1.66 - 3 con el paso del tiempo; con una variabilidad importante para la velocidad en el primer año de exposición, situable en el intervalo 0.6 -1.3 con relación a la media aritmética de 700 g/m^2.día correspondiente a los valores obtenidos al cabo de un año para varias series.

Key words: atmospheric corrosion, wind - airborne salinity relationship, cold climate corrosion, alternative methodological approach

Palabras clave: corrosión atmosférica, relaciones viento salinidad, corrosión en clima frío, metodología de alternativa

Introducción

Dentro de las preocupaciones inherentes al mundo de la corrosión, y en particular al área de la Corrosión Atmosférica, se ha instalado desde siempre el interés por profundizar en las relaciones que rigen al viento y la propagación de aerosol marino, con su natural repercusión en la corrosión. No obstante, las contribuciones que es posible encontrar en la bibliografía tecno - científica son bastante escasas, siendo su abordaje en general retrotraído a necesidades en el campo de lo meteorológico, geoquímico, pedológico, etc. Tratase de un tema que está instalado en una escala espacio - temporal amplia, inserto en la naturaleza, que es abierta y cuyo control escapa a nuestra manipulación y posibilidad, lo que señala un contraste con relación a las aproximaciones disponibles a través de la ingeniería de servicio y proceso. Sin

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

pretender introducir una afirmación contundente, se menciona que los aportes que se disponen permiten visualizar dos tipos de tendencias de aproximación al tema:

- el empiricismo dando curso a derivaciones que surgen del trabajo experimental minucioso en campo (Strekalov & Panchencko, 1983, 1994; Mc Donald el al, 1982; Blanchard & Woodcock, 1980; Morcillo el al, 1999), que intenta construir una descripción en el seno de lo complejo
- dar por válidas ciertas ecuaciones que derivan de la teoría de flujos polifásicos en el seno de la mecánica de los fluidos y proponer modelos fisicomatemáticos, ajustables a través de la experimentación en campo (Yamamoto, Tsuru el al, 1990; Toba 1965; Feliu el al, 1999) que intentan proponer relaciones y modelos de predicción

siendo dificil establecer una clasificación de corte neto sobre tendencias metodológicas. Se diría que es un tema interesante en donde el dialogo y la asistencia interdisciplinaria, incluso retrotraída en el tiempo, es bien visible. El presente trabajo se inserta en el primer tipo de aporte, alcanzando resultados que también permiten predecir.

Veamos un poco de que se trata el tema en su eje medular.

Desde un punto de vista jerárquico, los aerosoles atmosféricos, que configuran un sistema de finas entidades suspendidas en la atmósfera, tienen especial relevancia en su estudio, por la influencia que tienen en los intercambios radiativos del planeta, entre otros aspectos.-

- En cielo claro absorben y dispersan la radiación solar, devolviendo una parte hacia el espacio.
- En otro tipo de circunstancia, modifican las propiedades microfísicas y ópticas de las nubes, también modifican la visibilidad ambiente

Parecería ser que las concentraciones de los aerosoles de origen industrial se van modificando a lo largo del tiempo, y al ser tema de responsabilidad inherente al hombre existe una preocupación constante sobre las consecuencias de la emisión de éstos. El inventario inherente a las emisiones de los sistemas naturales importa, sobre todo por las proyecciones dinámicas del clima en las que están naturalmente incluidos. Sobre los primeros tenemos una responsabilidad directa, sobre los segundos tenemos un efecto, cualquiera fuere. En ambos casos interesa a la ciencia y a la tecnología indagar, esclarecer.

Genéricamente los aerosoles son partículas suspendidas en el aire, de tamaño micrónico y submicrónico, pudiendo ser fases líquidas o sólidas, excluyéndose por definición la inclusión de las gotículas de agua y los cristales de hielo que forman las nubes (Boucher, 1997). Pueden provenir de:

- fuentes de emisión llamadas primarias (polvos desérticos, nieblas marinas, cenizas volcánicas y polvillos industriales), o bien de
- secundarias (transformación de la fase gaseosa en fase particulada) siendo un típico caso la formación de sulfatos, ya sea desde la emisión industrial de SO_2 o bien desde la emisión marina de DMS (sulfuro de dimetilo)

Ante tal universo de amplitud considerable, la dificultad de medir y de modelar, ya que se trata de microsistemas complejos de innegable importancia, se ha adoptado el criterio de jerarquizar el parámetro correspondiente a la distribución de tamaños para caracterizar a estos sistemas, a partir de mediciones puntuales, siendo posible distinguir en lenguaje ligado a la modelación climática, que nos habla de modos o fases de la evolución de una partícula, las siguientes denominaciones, a saber:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

nucleación, acumulación y gigante (Boucher 1997, pp.12; Preining 1990, pp.2443; Toba 1965, pp.131)

1. Modalidad nucleación (fina): partículas con dimensiones del orden de centésima de micrómetro: 10 -8 m, (2-50 nm), provenientes de conversiones gas - partícula, a partir de gases precursores; sistemas poco estables que darían paso a la modalidad acumulada
2. Modalidad acumulada: partículas con dimensiones del orden de décima de micrómetro: 0,1 μm
3. Modalidad gruesa (coarse, grossier, gigant): partículas con dimensiones mayores (>) del micrómetro: 10-6 m, normalmente no orgánicas, formadas a partir de procesos de desintegración o escisión.

- Las partículas incluidas en esta tercera categoría provienen de la erosión del suelo, la evaporación de las nieblas marinas, predominantemente.-
- Aquellas incluidas en la primera y segunda categoría devienen de sistemas de conversión de fase gaseosa a fase particulada, predominantemente.-

Los procesos de deposición seca sobre superficies, y de deposición húmeda, dando lugar a las precipitaciones, son procesos que de alguna forma intervienen en la compleja regulación del sistema, en este caso otorgando a las partículas tiempos de residencia en la atmósfera del orden de una semana. La distribución de tamaños y la naturaleza química de los sistemas particulados es altamente variable en el tiempo y el espacio.

Con relación a los aerosoles con influencia en los procesos de corrosión, importan aquellos que aportan componentes ya sea higroscópicos, o de poder catalizante, también los abrasivos, etc. Con relación a las medidas de velocidad de deposición se trata de visualizar aquella parte del sistema relacionada al ión cloruro, fundamentalmente de origen marino, más allá que la candela de captación del mismo (ISO 9225:92) no da distinción - en su análisis frecuente - cuando el mismo proviene del suelo, u otras fuentes. Es posible entonces hablar de un índice de salinidad también en un sitio rural, o urbano. Los fenómenos eólicos están estrechamente ligados.

Un volumen de aerosol es una colecta de partículas discretas de determinada dimensión con una concentración que varía con el tamaño del aerosol. Desde el punto de vista físico, se trata de una polidispersión. Llamaremos N: nro. de partículas/unidad de volumen, dado un radio.

Esta información sobre el comportamiento de grupos usualmente se visualiza bajo la forma de histograma. La literatura asociada a temáticas como la visibilidad ambiente, que tiene propósitos de fina dilucidación en su búsqueda, hace uso de funciones analíticas para la caracterización de estas comunidades particuladas, Si-Chee et al and Greenwald (1991, pp.1040), sugieren dar atención a las propuestas de Aitchinson and Brown (1975), sobre la utilización de la función que relaciona la mencionada concentración (N) con el radio medio del grupo de partículas (r_m) y la introducción de factores propios del enfoque estadístico, implícito en la función log normal de distribución de tamaños como vía descriptiva. Se obtendría entonces una función continua descriptiva, a partir de algunos datos discretos de tipo físico.

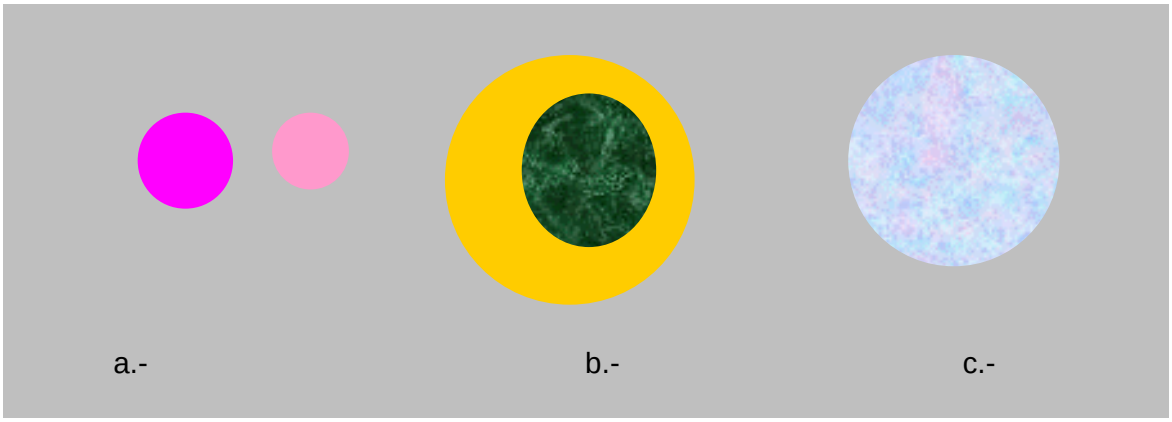
En el caso que nos ocupa no se ha efectuado un estudio sino de parámetros globales, como ser la velocidad de deposición de ion cloruro (ISO 9225:1992), y medidas de viento, no obstante se intentará mostrar sobre la fuerza de este simple argumento experimental, siendo el objeto central del presente trabajo. El análisis microscópico de

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

aerosoles muestra que los mismos pueden dar lugar a aglomeraciones de una forma compleja, que introducen información relevante alejando posibilidades de uso de una modelisación simplificadora.

Atendiendo una clasificación estructural, se tiene:

a) mezcla externa, en donde coexisten en forma individualizada naturalezas fiscoquímicas diferentes
b) mezcla interna, en donde es posible visualizar una partícula de naturaleza última insoluble rodeada de solución
c) mezcla en volumen, en donde coexisten como una única entidad una mezcla de más de una fase (ej.: solubilización de una partícula en una solución ácida)



Basado en Si-Chee Tsay, Graeme L., Stephens and Thomas J. Greenwald, 1991, pp.1040.-

Se comprenderá que la evolución dinámica de cada uno de estos modelos será diferente de acuerdo a las circunstancias.

En el caso que nos ocupa - el aerosol estrictamente de fuente natural - nuestro sistema particulado se asemeja más al tipo mezcla externa y mezcla interna. De acuerdo a Si-Chee Tsay el al & Greenwald (1991, pp. 1040), la mayoría del aerosol marino está en la modalidad "gruesa" (corase).

Se destaca en la misma fuente que mientras que a los aerosoles en fase húmeda le podemos asignar una geometría de partícula esférica, sin mayor apartamiento de la realidad, esto es francamente diferente para el caso de las partículas sólidas.

Muy en fase con estas aseveraciones están los trabajos visionarios de Twomey (1954) y Woodcock & Gifford (1949). Se deberá tener en cuenta que el estado físico químico de las partículas es dinámico a lo largo de la trayectoria fuente - sumidero, centrándose el interés mayormente en dilucidar sobre las condiciones que arrojan tal o cual consecuencia (régimen de vientos, campo de humedad, de temperatura, etc.).

¿Por qué nuestra preocupación atañe a estos aspectos?

Es posible que exista una correlación entre la curva de distribución de velocidades de deposición de salinidad ambiente y la correspondiente a los tamaños de partícula que han venido navegando en el aire preponderantes en cada caso, lo que también tendría influencia en la captación superficial de sales por parte de los metales expuestos.

En la conformación de los productos de corrosión se tendrán - en cada caso - las huellas de la complejidad actuante. Existirían sales solubles, que de alguna forma estarían entrampadas en los propios productos, una especie de reserva salina, y al

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

mismo tiempo mas ejercitadora de captación de moléculas de agua, y sales insolubles que son el resultado de una ligazón química. Así en la noche por ejemplo la actividad de esta "masa reserva" de sal se hace importante; también adquiere relevancia en períodos estacionales favorables a la aparición de mayor humedad relativa. Es innecesario destacar sobre la no-linealidad de estos procesos y sobre las dificultades para dar paso a representaciones de índole numérico - funcional con buen ajuste.

Centrándonos entonces en relación estrictamente a los aerosoles marinos se tiene que su importancia - en el ámbito planetario - está dada no solo por el efecto que podría tener en la corrosión, sino más que nada en la participación del mismo en el balance energético de energía entrante vs energía saliente en donde interviene, y también en la interferencia que procura en las tecnologías de medición de avanzada, basadas en el uso de ondas electromagnéticas (Fitzgerald 1991, pp.533).

A similitud de Boucher (1997), Fitzgerlad (1991, pp. 533) afirma, que la concentración, distribución de tamaño y composición de las partículas de aerosol marino, varían en el tiempo y el espacio, en función de una serie de diferentes procesos que incluyen:

Procesos tipo I (emisión hacia la atmósfera y nucleación de partículas: producción de partículas)
- transporte de aire continental a gran escala
- producción de aerosol por el estallido de las burbujas que se producen a partir de los "corderitos" de las olas (interacción océano - atmósfera)
- nucleación homogénea que incluye los productos de oxidación de los gases precursores emitidos por el océano

Procesos tipo II (devolución)
Remoción de partículas por procesos de deposición seca sobre superficies, así como deposición húmeda: precipitación

Procesos de tipo III (transformaciones)
Aglomeración de partículas, colaescencia, condensación de productos de reacción de baja volatilidad, refuerzo de la masa del aerosol por conversión de SO_2 a sulfato en la propia nube de partículas.

Mediante una serie de experimentaciones habidas en medio de cruceros oceánicos, cuya condición experimental detallada se desconoce y cuyo medio experimental pudiere no ser un espacio de trabajo especializado al propósito buscado, se tiene como dato de orientación lo siguiente: la concentración de partículas es del orden de 6000 cm-3 para sitios aledaños a sistemas industrializados, y del orden de 150 cm-3 en sistemas aledaños a un medio natural más alejado. Los radios se encuentran entre 0.006 μm y 50 μm. Las partículas con radios menores a 0.03 contribuyen en menos de un 20% en los sistemas de alta pureza.

En sitios muy naturales se hallan valores que oscilan entre 60-450 cm-3. En las regiones en donde rigen algunos regímenes de viento tropical (entre Hawaii y Tahiti, por ejemplo) se encuentran valores homogéneos situados entre 100-280 cm-3. Al sur de estas regiones la variabilidad es manifiesta con intervalos amplios como los señalados más arriba situados entre 25-1000 cm-3.

Este autor también encuentra referencia a variaciones diurnas y estacionales, en las concentraciones para partículas de determinado radio, que se asocia con reacciones fotoquímicas de rápido alcance (ejemplo foto-oxidación de DMS). Hay en torno a este tema una exacerbación generalizada en la literatura científico- técnica, que requiere de una largo y cuidadoso análisis, proceso que el tiempo dará; las mediciones son

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

también extremadamente importantes. Es un hecho que el microclima en torno a cada región habitada del planeta es extremadamente propio y complejo. En ese escenario nos movemos.

Las distribuciones ya sea en relación a la vinculación del número de partículas/unidad de volumen (cm^{-3}) con el radio, o al volumen de las partículas/unidad de volumen total ($\mu m^3/cm^3$) con el radio, son multimodales, en este tipo de caso correspondiente al aerosol marino es en general bi-modal. Este es más bien un deseo que una confirmación rotunda, la evidencia experimental es igualmente floja.

Con relación a las conclusiones primarias de la recopilación de Fitzgerald, se tiene que las partículas en la zona denomina gruesa ("coarse" o "large"), son aproximadamente el 90-95% en la masa total de aerosol, pero solamente el 5-10% del número total de partículas. En la región marina pura está comprendida casi exclusivamente de sales marinas, y es fuertemente dependiente de la velocidad del viento. Los principales constituyentes son:

- sal marina (mayoría)
- sulfato no marino (NSS: non sea - salt sulfate)
- polvo mineral
- nitratos

El aerosol marino según Preining (1991, pp.2444), tiene un peso del 25% en el inventario total de aerosoles, que conjuntamente con los NSS (15%) dan paso a un aporte dominante del 40%, comprendiéndose la importancia del tema. La concentración de sales marinas depende primariamente de la velocidad del viento y se señala la posibilidad de intervalos de concentración de 2-100 μg/m3 para vientos menores a 10 m/s (36 km/h). Por encima de 15 m/s (54 km/h) la literatura señala concentraciones por encima de 50 μg/m3 (Fitzgerald, 1991, pp.536).-

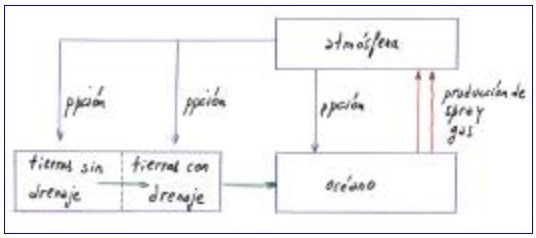
El interés en el estudio de núcleos higroscópicos subyace ya en el siglo 19, ligado a la meteorología (Gautier, 1899) y a los intereses geoquímicos y pedológicos (Eriksson, 1959). Se ve a la superficie marina como una fuente importante de estos núcleos, en la forma de gotas de agua marina concentrada, formada a partir de un spray. Deja en claro una de las funciones del núcleo de sal en el ciclo natural, que es absorber y transportar agua. La gotícula es capaz de dar paso a una transformación de fase de vapor a líquido, con lo cual se libera o se almacena entalpía latente. Trabaja en las transferencias de calor y masa en sitios preferenciales: las nubes, y el espacio entre las mismas en donde sufre por ejemplo procesos de evaporación. En el caso de la bruma marina el espacio en la vertical está ocupado por una suspensión de gotículas generadas por evaporación oceánica, arrastre de sal y captación de aguda de hidratación. También se observa este fenómeno en sitios muy cercanos a la costa al atardecer en los eventos de brisa marina. Existen intercambios de calor y de masa.

Boucher (1997), destaca una observación muy atinada y es que en ausencia de aerosoles, la presión parcial del vapor de agua necesario para la condensación de agua sería 4 veces más elevada que la presión de vapor saturante y los ciclos hidrológicos serían muy diferentes de lo que se conoce. Este rol del aerosol trabaja en donde quiera que esté, también cuando se deposita sobre una superficie. Vernon (1935), da cuenta de una cierta humedad crítica por debajo de la cual la corrosión metálica es inocurrente, y por encima de la cual la misma se produce con significación. Esta depende de varias cosas, una de ellas es la naturaleza de la superficie, obviamente la presencia de ciertas sustancias y ciertos óxidos, así como la estructura capilar a la que dan lugar determinan esta humedad crítica.

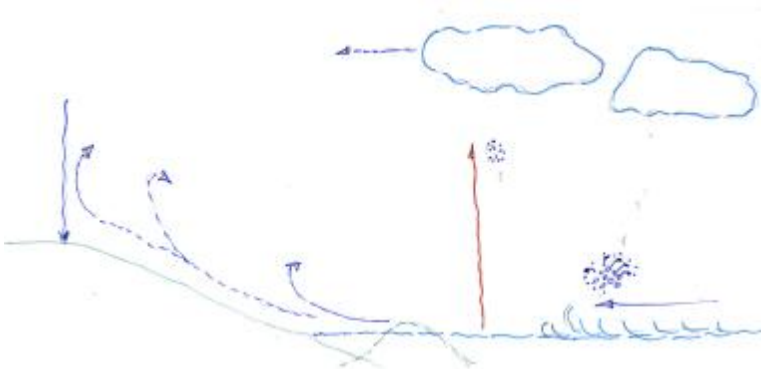
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

En cierta forma una superficie en corrosión, vista como inventario general de superficies que van dotando al mundo a medida que la civilización transcurre y crece, citadinamente, también puede verse como un sistema que recoge parte de un flujo que fuere emitido y que forma parte de un ciclo dinámico. Así una nube puede ser vista como un sitio en donde se cumplen ciertas reacciones de naturaleza química complejas, que modifican la naturaleza del aerosol inicialmente producido, lo que también ocurre en las superficies de captación. Volvería una parte de lo emitido a su origen y el resto forma parte de un cambio. Esta visión dinámica nos habla de un ciclo que a su vez se mueve en el espacio y el tiempo. Eriksson (1960) plantea el diagrama de flujo plasmado más abajo.

Los tiempos de residencia de las sales en estos flujos son diferentes y de muy diversa escala, lo cual implica la coexistencia de una importante cantidad de sub - sistemas inmersos en el sistema, cuyas fronteras son abiertas, se trata de un sistema altamente complejo del cual sabemos muy poco, que requiere de una experimentación ingeniosa y al mismo tiempo simple, conjugada con procedimientos ingeniosos en el tratamiento de datos y desde la idea de que se trata de aproximaciones sucesivas.



Basado en E. Eriksson, 1960, pp.73



Interacción viento-mar-suelo, formación y transporte de aerosol marino

Para complicar aún más el panorama, se tiene que los núcleos salinos ganan o pierden agua con relación al marco de HR en el cual se desplazan o yacen, y esto modifica la concentración salina que las partículas tienen. En condiciones equilibradas o de saturación, la HR de delicuescencia para cada tipo de sustancia es específica, eso implica que si una partícula se traslada en el aire, se debate entre los procesos de captación de humedad y los de evaporación de la misma, en función no solo de los campos que atraviesa, sino de la arquitectura o unidades de reacción, que a su paso encuentra.

Cuando el viento fluye con suavidad barre suavemente la atmósfera, y la concentración de fondo que en ella subyace, favoreciendo una natural reposición; cuando extremadamente turbulento agrega componentes a esta concentración de fondo que derivan del oleaje que produce, en su interacción con el océano, arrastrando un espectro o de mayor amplitud o de predominancia de las partículas

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

gigantes, cuyo tiempo de residencia en la atmósfera será mucho menor, apareciendo como un evento más aislado en el tiempo. Todo lo que ocurra dependerá de la carga y naturaleza del sistema químico - bioquímico inserto en la región que cruza. Desplazará nubes, mientras que la brisa suave y la calma colaboran en fabricarlas.

Con relación a lo que pasa con la carga de la candela de salinidad, el viento fuerte no necesariamente la carga de ión cloruro. Cuando el mar está congelado ello no ocurre, cuando se producen determinadas precipitaciones aledañas tampoco, y probablemente también actúe la relación sulfato (proveniente de fuente gaseosa, ej., DMS)/cloruro, diluyendo el segundo a favor del primero. Esto señala nuevamente sobre una no-linealidad manifiesta.

Debe tenerse en cuenta que el fenómeno que buscamos entender en realidad es subsidiario de una necesidad de la biosfera de regular también su temperatura.

Da una señal corrosiva, pero su razón de ser es vital, incrustada en las fuerzas y necesidades de la naturaleza y desde ese eje se dirige esta aproximación al tema.

¿Desde que sustento se vitaliza la sencilla medición de salinidad a partir de la denominada "candela húmeda" (ISO 9225:1992)?

Se toman algunas conclusiones emergentes del trabajo de Woodcock & Gifford (1949), que señalan:

$$W_{Cl} = V \cdot \rho \cdot Cl$$

en donde:

el peso de cloruro en gramos (W) sería igual al producto del volumen del núcleo (V, μm3), por la densidad de la solución a que da lugar la gotícula (ρ, g/cm3) por la salinidad expresada en fracción en peso (Cl, w/w). Este componente calculado para el número total de gotículas captadas en una superficie de recolección, permite conocer el peso de las mismas.

Si extrapolamos este concepto a lo que ocurre en una superficie de captación de salinidad en campo, por unidad de área y de tiempo, veremos que tenemos similitud de conceptos, es decir estamos hablando de una velocidad de deposición de sal (expresada en cloruro), en donde calculamos: W (mg Cl) /(área de recolección (m^2)*unidad de tiempo (día)). Esto implica que la distribución del tipo de partícula asociada a determinada velocidad de viento, debería estar comprendida en esta medición de velocidad de captación. Si evalúo una serie importante de determinaciones de velocidades de deposición, tendré implícitamente rastros de la amplitud de tamaños de partícula (distribución de tamaños) que participó de las acumulaciones. Estaría por ende caracterizando el sitio marino a través de mediciones sistemáticas en tierra extremadamente simples.

Según Blanchard & Woodcock (1957), se cree que la mayoría de los núcleos de sal subyacentes en el aire, surgen a partir del estallido de burbujas generadas en la interfase atmósfera - superficie marina. Se han abordado cuatro fenómenos naturales que aportan a esta producción:

- formación de los llamados "corderitos" de espuma subyacente en el mar agitado por el viento.
- la lluvia
- la nieve

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

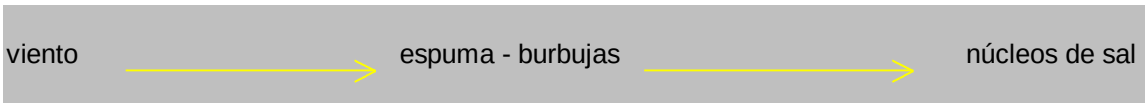
- la super-saturación de la superficie del agua debido al calentamiento que ocurre en la primavera (u otros eventos)

Blanchard & Woodcock (1957) postulan que cada núcleo de sal puede dar lugar a una gota de lluvia, y que cada modificación en el espectro de distribución núcleos de sal cambiaría el espectro de distribución de gotas de lluvia y posiblemente el de producción de lluvia. En algún momento aparece la idea de que pocos núcleos de sal se producen por la propia interacción directa del agua de mar con el viento, sino que la mayoría proviene del estallido de la propia burbuja que esta interacción provoca. Kientzler et al (1954) logran fotografiar evidencia que de alguna forma apoya dicha postulación mecanistica. En un trabajo publicado en 1953, sostienen que cuando las burbujas estallan en el agua de mar, la evaporación del agua de las gotículas formadas a partir del jet resultante del estallido, dan paso a residuos de sal que en muchos casos es similar en peso a los núcleos de sal encontrados en la atmósfera.

Por tanto el desprendimiento de burbujas desde la superficie del mar, ya sea por la interacción del viento dando paso al oleaje, o por la propia sobresaturación de masa gaseosa auto- incluida en dichos seno, da lugar a una transformación entre fases: atmósfera - océano, a través del plano que las une, a partir de la cual la burbuja sumergida trasciende a la superficie y en su pasaje crea una situación de oscilación del fluido en su derredor cuyo movimiento combina el estallido de la burbuja con la proliferación de un jet ascendente inicial, que posteriormente se escinde en varias finas gotículas. Alguna de ellas evaporarían su masa acuosa, dejando liberado un núcleo de sal que se elevaría, dando paso:

- bien a la formación de nubes, como zona de acopio y reacción para el transporte atmosférico de agua y la producción de lluvia, centro a su vez, de reacciones de conversión de especies.
- bien a inter espacios entre nubes en donde los núcleos figuran deshidratados siendo parte de otras funciones atmosféricas entre las cuales se incluye la dispersión de radiación atmosférica y posiblemente la potencialidad para captar humedad ambiente, y re-nuclear nubes; ofrecer o bien un medio conductor para la descarga eléctrica, o bien un medio dieléctrico, etc.

Un viento en aumento se relaciona con una mayor producción de "corderitos" sobre al superficie del mar. Los mismos producen burbujas, que al romper producen núcleos salinos.



Existiría una intrusión transitoria y forzada de una masa de aire en el seno de un líquido, cuya consecuencia es el arrastre de solución marina, que dota de humedad, entalpía de vaporización y de condensación (regulaciones térmicas) y transporte de masa entre zonas. El vehículo sería un núcleo de sal.

Desde la base de que la producción de sal marina en el aire deviene de la producción de burbujas, Woodcock estudia la variación en la producción de burbujas desde la consideración de dos fenómenos:

1. la acción de las olas
2. la acción de la precipitación

La acción de las olas

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Woodcock (1953), encuentra que el valor de concentración de sal, en peso, en la base de la ciertas nubes aumentaría en diez veces, al modificarse la fuerza del viento de 3 a 7 en la escala Beaufort, es decir brisa débil a viento muy fuerte, (12-19 a 50-61 km/hr). Esto deja ver un umbral de cambio paulatino en el intervalo citado, cuya consecuencia no es lineal. Existiría una relación directa entre la fuerza del viento y la producción de burbujas. Como veremos luego el presente trabajo aporta evidencia contundente que refuerza la descripción que se acaba de transcribir.

La bibliografía señala que con vientos fuertes, el área efectiva a partir de la cual se producen burbujas es apreciablemente mayor que en una condición de oleaje moderado.

Ante fenómenos ligados al oleaje, existiría una relación directa entre la velocidad de elevación de las burbujas y el diámetro de las mismas (0.1-20 cm/seg, para 40-1500 μm), así como una relación inversa entre la concentración de burbujas y el diámetro de las mismas (0,05 -100 cm-3, 1000 - 40 μm).-

La acción de la precipitación

Otros fenómenos productores de burbujas son la precipitación de nieve y lluvia sobre la superficie del mar. Estas fenomenologías tienen su propio espectro de caracterización, que en caso de las gotas de nieve produciría burbujas de bastante menor intervalo de diámetro (20-120 um). No está señalado en el trabajo de Woodcock, pero la propia nieve es una estructura impregnada de aire en si misma, no es de extrañar que cuando cae en un medio líquido produce una liberación compleja de este aire entrampado, así como el que estaría en juego por el propio volumen que la caída libre de la nieve va procurando. De esta experiencia surge la conclusión que: al aumentar el diámetro de la gota de lluvia aumenta el numero de burbujas observadas, aunque el diámetro de las mismas prácticamente no varía. Se hallan diámetros de gotas de lluvia entre 0,2 a 4,7 mm y una cuenta asociada de 6 - 400, con una relación en la misma dirección, un tanto más asintótica, para la producción de núcleos de sal. Estas burbujas sufren diferentes dinámicas en dependencia del grado de saturación de aire que el agua de mar contenga; asimismo en el seno del líquido experimentan variaciones de diámetro difundiendo gas hacia fuera o hacia dentro en función de la condición externa. Esto conlleva a flujos ascendentes diferenciales.

El goteo de agua de lluvia sobre la superficie del mar trae aparejado fenómenos de salpicado, que a su vez crean un contingente importante de burbujas. Una gota de lluvia de 5 mm es capaz de producir 900 gotículas en donde aproximadamente la mitad es de diámetro menor a 0,2 mm, llegando a tamaños de aproximadamente 1,2 mm.

El presente trabajo se centra en desarrollar un método empírico, cuyo propósito fundamental es dar a luz umbrales de vinculación de velocidades de viento y de velocidades de deposición de salinidad ambiente asociadas, con el propósito inicial de asistir a la construcción de funciones de daño, en la búsqueda de formas de predicción, y cuya extraordinaria riqueza y complejidad temática ha hecho que el enriquecimiento de la propia metodología de descripción fenomenológica fuere centrando el interés. Asimismo se introducen datos inherentes al comportamiento de las superficies metálicas exploradas enriqueciendo la descripción de los interconectados procesos, desde sus diferentes ejes de referencia.

Los antecedentes del grupo de trabajo, están ligados a la participación en el proyecto multinaciones MICAT, programa CYTED (Rivero et al, 1996; Morcillo et al, 1998; Morcillo et al, 2000; Rivero et al, 2002; Rivero, 2003 a; Morcillo et al, 2004). El

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

presente aporte actualiza resultados anteriores, introduciendo interfases de conexión temática que pudieren ser de interés para otros estudios y aplicaciones allegados al mantenimiento predictivo, otros. Asimismo mantiene interés en la divulgación en lengua vernácula.

La aplicación del trabajo es múltiple, fundamentalmente en la consideración de este tipo de parámetros, y umbral de los mismos, a la hora de darse al diseño de estructuras, ya sea en sus formas o bien en la selección de sus materiales en sitios marinos. El planteo de la complejidad, señala asimismo sobre la necesidad de tener asistencia por los especializados en el tema a la hora de darse tanto al diseño como a la construcción. En materia de teoría muestra que hay mucho por dilucidar, y hace hincapié sobre la necesidad de dar visualización a los temas ingenieriles desde nuevas concepciones, incluso con orientaciones filosóficas diferentes de lo tradicional en la comprensión y la aplicación del arte y la ciencia en la ingeniería (Rivero, 2003 b).

Detalles experimentales

Sitio

Los datos experimentales provienen de su recolección en un sitio antártico, ubicado en un archipiélago perteneciente a las islas Shetlands del Sur, latitud: 62ºS, longitud: 58º W, cuya particularidad es estar ubicado en la convergencia polar sur (polar front), zona de transición entre la parte más austral y fría de la franja templada y la más cálida de la correspondiente al casquete polar sur, en donde se dan encuentro movimientos de aire de escala meridional. El sitio elegido se sitúa en la Isla Rey Jorge, rodeada por el mar de Drake al norte y el Estrecho de Bransfield al sur. Tiene una orografía muy rocosa a lo largo de la costa norte, menos acentuada en su costa sur, y la peculiaridad de tener una miríada de glaciares, pertenecientes al casquete Collins, que dan lugar a una vasta línea costera de hielo. La costa norte es más abierta, la costa sur muy recortada, habitada de una serie de caletas sucesivas, de muy diferente espectro de tamaño y tipo, derivando en una costa serpenteante. Es escasa el área de la isla que se libra de hielo a lo largo del año, siendo el caso de la punta oeste de esta, de más fácil acceso en la temporada veranienga.

Desde el punto de vista del sitio de emplazamiento del bastidor de exposición de chapas metálicas, así como del artefacto sostén de las candelas de captación de salinidad ambiente, el mismo se encuentra ubicado en el extremo sur-oeste de la Isla Rey Jorge, a 17 m (SNM), aledaño a una bahía ubicada entre las puntas Suffield y Nebles, a 150 m de la costa por el sur-este, 8 km de la costa norte, y a 4,5 km de la costa oeste; epicentro de una orografía de altura variable que oscila entre 50-130 m por el nor-oeste, 200-300 m por el nor-este. La altura máxima coincide con el desarrollo paulatino de una prominencia que se ha dado en llamar casquete Collins, de cúpula helada en forma perenne, cuya falda discurre en variaciones estacionales. Rodea esta masa de tierra una serie de islas, siendo un obstáculo a destacar, cercano al sitio, la Isla Nelson. Se incluyen en las Figura 1a y 1b imágenes alusivas.

Mediomabiente

Se ha monitoreado en forma continua el soplar del viento en su velocidad (v, km/h) y su dirección (j). Se ha prestado peculiar importancia a la identificación de fenomenologías, con el natural enriquecimiento de la descripción mediante el uso de datos discretizados, de naturaleza ajena al número, más cercana al uso de variables literarias, con aporte de imágenes alusivas al tipo de precipitación, período y forma de congelamiento del mar, de arribazón de bloques de hielo, que muchas veces alcanzan la friolera de los 100 m de altura y equivalencias en el ancho, constituyendo corredores

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

de viento, y al mismo tiempo pantallas flotantes al paso de sal ambiente. El mar se congela periódicamente.

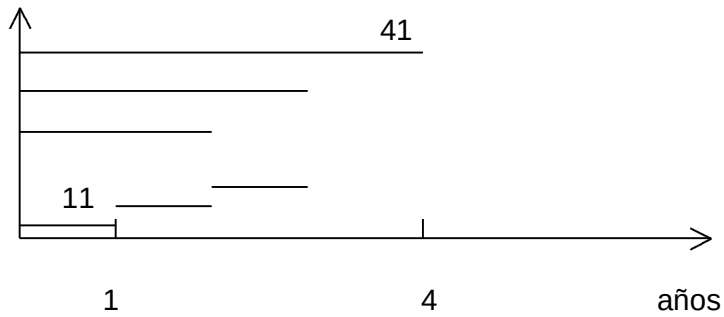
La obtención de la velocidad de deposición de salinidad ambiente (S, mg/m^2.día), ha seguido los procedimientos sugeridos en la norma ISO 9225 (1992), no obstante el diseño del dispositivo y su medio de transporte es de construcción nacional (Morcillo el al, 1998, pp.225), y recoge la tradición británica inserta en la norma BS 1747, Parte 4 (1963). Se incluye en la Figura 2 un detalle del mismo. Este dispositivo trabaja ofreciendo superficies cilíndricas y húmedas de captación, ubicadas bajo techo, que en la lengua hispana ha trascendido con la denominación de candela húmeda, desde una traducción un tanto singular de las palabras en inglés "wet-candle". La exposición de cada una cumple un período mensual, siendo continuamente reemplazada por la siguiente. El período experimental se extiende desde Mayo 1995 a Noviembre 1999. La caracterización complementaria de anhídrido sulfuroso se ha considerado innecesaria, asumiéndose insignificante su aporte.

Material de prueba

De acuerdo a las pautas sugeridas en la norma ISO 8407 (1992) se prepara la superficie de diferentes series constituidas por lamina de acero sin alear (C 0.05, Cu 0.021, Ni-Cr 0.012), de dimensiones (100.150.1) mm, para el seguimiento del parámetro corrosión, con exposiciones previstas entre 12 - 48 meses (tipo a, plazo medio) y 1-12 meses (tipo b, corto plazo).

El cronograma de exposición y retiro se rige por la siguiente dinámica:

Tipo a:



16 chapas en total, 6 series: 11, 12, 13 (reemplazo sucesivo) y 21, 31, 41 de remoción consecutiva a la serie 11; replicación: 3.

Tipo b:

32 series, cada una de la cual tiene una replicación variable de 2-3 cuerpos de prueba, que fueron expuestas sobre la base de la repetición del siguiente cronograma: 1, 2, 3, 5, 7 y 12 meses, sucesivamente. En esta parte del experimento las fechas de inicio de ciertas corridas se han elegido de forma de poder estudiar la influencia de al estacionalidad en el valor de corrosión correspondiente a un año. Esto implica probar en campo cuatro series sucesivamente, cuya fecha de inicio difiere en tres meses y cuyo período de exposición se extiende a un año.

En el presente trabajo se utilizan los datos concernientes a las series de tipo a, y alguna serie de tipo b, inherentes a un año de exposición. No se abordan los datos concernientes a períodos de menor alcance, previstos para otros fines.
Los parámetros corrosión y velocidad de corrosión (C, g/m^2; V, g/m^2.día) se han obtenido siguiendo las directrices contenidas en la norma ISO 9226 (1992).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Desarrollo del método y resultados

Se ha seguido la siguiente secuencia de pasos:

1- Estudio de la historia del viento, históricamente habida, correspondiente al 1986-1996. Se incluye en la Figura 3 el resultado de la misma, representado por los valores medios de velocidad y frecuencia de viento, discriminado por dirección, con la inclusión de 16 rumbos.
2- Puesta en fase de la información de viento, con la información de velocidad de deposición de salinidad ambiente; ya que las series han sido previstas con diferente propósito. Se han organizado en secuencias de un mes, acoplando las fechas de inicio y fin en las bases de adquisición de datos de viento al período exacto de exposición de cada candela de salinidad, que no necesariamente coincide con el mes calendario.
3- Ordenamiento de las series de velocidad de deposición de salinidad ambiente siguiendo un orden creciente de su magnitud. En la Figura 4a se representa el resultado de las series colocadas en campo, que han cumplido con ciertos requisitos, señalado más abajo. En la Figura 4b se presenta la evolución de la velocidad de deposición de salinidad ambiente en el devenir del período experimental.
4- En función de la información obtenida en el apartado que antecede se decide subdividir las categorías de salinidad ambiente en tres regiones igualmente arbitrarias:

   - Región en la cual S se sitúa en el intervalo 50-100 mg/m^2.día
   - Región en la cual S se sitúa en el intervalo 100-300 mg/m^2.día
   - Región en la cual S se sitúa en el intervalo 300-700 mg/m^2.día

5- Cálculo del parámetro denominado recorrido del viento (R, km), definido en la forma que sigue:

$$R = \Sigma \left[\text{velocidad media}_{\text{intervalo}i,\ \text{dirección}\ j} * \text{duración de la condición}_{ij} \right]_{\text{para cada sector elegido}}$$

En donde el intervalo de velocidades ha sido establecido considerando el intervalo total de velocidades registradas (1-85 km/h), subdividiendo el mismo en intervalos de 5 km/h desde una condición por encima de la calma, 1-5, 6-10,....., 76-80, considerando como velocidades medias: 3, 7, etc., para cada sub - intervalo. Se entiende por duración de la condición ij al tiempo (número de horas) que el viento ha soplado en la dirección j con una velocidad correspondiente a cada sub- intervalo, al cual sea asigna una velocidad media v_i. Este tiempo podría consistir de un período en donde se confirma un accionar continuo del viento, en cuyo caso le denominamos persistencia, pero no necesariamente.

Esta sucesión de sumandos se agrupa tomando en cuenta aquellos términos de frecuencia (h) que a su vez están comprendidos en cada uno de los siguientes cuatro sectores direccionales elegidos:

- Sector 1: comprende los rumbos NNE al ENE
- Sector 2: comprende los rumbos E al SSE
- Sector 3: comprende los rumbos S al WSW
- Sector 4: comprende los rumbos W al N

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

El resultado de este cálculo se muestra en la Figura 5. El eje de abscisas se corresponde con la numeración asignada a cada serie de velocidad de deposición de salinidad de 1 a 60, según ordenamiento de salinidad creciente.

6- Re-selección de determinadas series de velocidad de deposición, sobre la base de re-calcular el recorrido del viento para cada una de ellas, expresándolo discriminado por sector. En esta etapa se han seleccionado 27 series de salinidad y viento, que reúnen concomitantemente las siguientes condiciones:
- ausencia de congelamiento del mar, excepto la 57 (parcial)
- pérdidas en la recolección de datos de viento menores al 5%
- período de exposición de las series de captación de salinidad ambiente de 30 ± 3 días

También se ha esgrimido en esta instancia un criterio diferente para la selección de los intervalos de velocidad, a ser considerados en el cálculo del recorrido de cada sector anteriormente definidos. Este consiste en remitirse a la escala Beaufort, que categoriza las velocidades de viento según el efecto que estas producen en la interfase océano-atmósfera, sobre la base del uso de una codificación numérica, que se corresponde en cada caso con el intervalo de velocidades protagonistas de cada efecto. Se seleccionan entonces los siguientes intervalos de velocidad:

- 1-20 km/h (velocidades asociadas al movimiento de la masa de aire no más intenso que la brisa suave)
- 21-40 km/h (velocidades asociadas al movimiento de la masa de aire que produce el efecto entre brisa suave y brisa fuerte)
- 41-60 km/h (velocidades asociadas al movimiento de la masa de aire que produce el efecto entre la brisa suave y viento sostenido y fuerte)
- 61-80 km/h (velocidades asociadas al movimiento de la masa de aire que produce - en intensidad - un efecto por encima del anterior)

Los resultados de este re-cálculo se presentan en las Figuras: 6, 7, 8 y 9 discriminados en función de las categorías de velocidad de deposición de salinidad ambiente definidas en el apartado 4, y ampliada según se indica seguidamente.

A diferencia de los procedimientos seguidos en trabajos anteriores, a medida que se explora el universo de datos disponible con mayor soltura y compresión, ya sea en la información del bloque anterior como en esta, se ha dividido el aporte de resultados correspondiente a los niveles de salinidad en la franja 100-300 mg/m^2.día, en dos sub-aportes, uno en donde se verifica que las series consideradas corresponden a experiencias en primavera - verano (p.v), y otro en donde ello ocurre en otoño - invierno (o.i).

Asimismo se agrega una información lograda mediante el tratamiento de los datos anteriores, desde dos aproximaciones diferentes:
- calcular el valor medio aritmético del recorrido total por sector, para cada conjunto de datos relacionados a cada nivel de salinidad ambiente, sin discriminar por tipo de velocidad, visualizando un comportamiento global, cuyo resultado se presenta en la Figura 10.
- calcular un valor medio aritmético de recorrido, para cada conjunto de series que se relacionan a cada nivel de salinidad ambiente, discriminando por intervalo de velocidad, cuyo resultado se presenta en la Figura 11.

7. A partir de las bases de datos de frecuencia mensual del viento, discriminada por velocidad, se calcula el número de eventos, para cada sector (S_1 a S_4) y para cada franja de velocidades según cada intervalo Beaufort elegido (1-21, 21-40, 41-60, 61-80

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

km/h), en arreglo a una subdivisión que incluye intervalos de diferente duración; se eligen los siguientes intervalos de tiempo: 1-6, 7-12, 13-18, 19-24, 25-50, 51-100 h. La idea de fondo es estudiar la contribución de cada flujo en el tiempo, en cada período experimental, clasificado por la intensidad de la velocidad y discriminado en rumbos preferenciales. Se presenta esta información ligada a los sectores 2 y 4, en función de su pertenencia a cada intervalo Beaufort que mantiene liga con un tipo u otro de intensidad de interacción entre el océano y la atmósfera, y a su vez mantiene una relación de vinculación e interacción con los ejes geográficos y la disposición física de la región. De estos copiosos cálculos surge la información que se expresa en las Figuras 12, 13, 14 y 15.

8. Se trabaja la información correspondiente a corrosión, de acuerdo a la condición estacional (condición inicial) de partida, cuya síntesis se presenta en la Tabla 1. También se calculan los parámetros surgidos de considerar la validez de una ley de tipo $C= kt^n$, que liga el desgaste (C, g/m^2) con el tiempo, y para el sitio, asumiendo el cumplimiento de una ley bilogaritmica, en donde es posible calcular un valor correspondiente al primer año, y un coeficiente n - en este caso- de atenuación, con relación a la dinámica interfacial que ha regido durante el período experimental estudiado (para este apartado: mayo 92- noviembre 00).

Tabla 1

Denominación serie	Comienzo exposición	Fin exposición	C, g/m^2	V, g/m^2.año
1er serie especial	3/4/95	4/4/96	936	931
2da serie especial	3/12/96	3/12/97	541	541
3er serie especial	27/4/98	27/4/99	905	905
4ta serie especial	7/5/99	6/5/00	733	733
idem	3/8/99	3/8/00	759	757
idem	3/11/99	3/11/00	762	760
idem	4/2/00	4/2/01	802	800
Serie 11 MICAT	29/05/92	25/03/93	361	439
Serie 12 MICAT	25/3/93	25/3/94	589	589
Serie 13 MICAT	25/3/94	2/4/95	530	519
Serie 21 MICAT	29/5/92	26/3/94	570	312
Serie 31 MICAT	29/5/92	2/4/95	896	315
Serie 41 MICAT	29/5/92	5/5/96	1123	285

Reflexionando sobre la complejidad

En el presente raconto sigue sosteniendo acuerdo con el aporte efectuado en publicaciones anteriores (Rivero & Krecl, 2002; Rivero 2003a), cuya síntesis sumaria reporta que la historia del viento local (Bello el al, 1995) es de extrema utilidad para conducir el tratamiento de datos, e interpretar resultados, esta historia indica:

Situación característica

- el componente de mayor frecuencia del viento viene en primer término desde el norte, con un segundo aporte en orden de importancia que sopla desde el oeste
- con relación a la intensidad, desde una visión a través de la velocidad media anual, los valores dominantes se corresponden con la dirección N y ESE. El mismo es

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

bastante constante a lo largo del año, incrementando algo en la primavera, los valores medios anuales se sitúan en el entorno de los 27 km/h
- la circulación característica de los vientos, que soplan desde el W, se correspondería con aquellos debidos a la circulación general para dicha zona (bajas sub-polares). Esta zona es límite entre los oestes de latitudes medias y los estes de latitudes polares, siendo una región de poca calma.
- La prominencia helada (casquete Collins) dota de la posibilidad de dar paso a la aparición de vientos generados por gradientes térmicos que surgen de la diferencia de temperatura entre la superficie helada de esta formación, y el aire contiguo, de pendiente en ascenso gradual, poco rugosa en los meses de frío. Este aporte no ha sido aún profundizado en sus detalles más que globales.

Situaciones puntuales
- los valores más altos en la magnitud de la velocidad de deposición de salinidad, están asociados a vientos que fluyen desde el ESE y el SE, relacionados a situaciones de escala sinóptica anómala, generando eventos de alta velocidad cuya presencia se vincula a los meses de Junio a Octubre.

Mientras que la velocidad del viento se mide generalmente a través de la velocidad del movimiento horizontal del aire, los números Beaufort - que denotan categorías - nos proveen de una medida de la fuerza del viento con referencia a su efecto sobre la superficie del mar. La escala Beaufort ha sido derivada para dar cuenta del estado del mar, desde una aproximación subjetiva, que categoriza vinculando efectos con fuerzas del viento, establecidas sobre la base de una escala arbitraria numérica, que en este caso nos orienta en las estimaciones en el seno de una fenomenología compleja. Existiría un nexo de relación entre las clases Beaufort y los correspondientes intervalos de velocidad inherentes a las medidas meteorlógicas a escala sinóptica, que han sido meticulosamente derivadas a través de contribuciones en el campo estadístico, habiendo mayor incertidumbre en las escalas 9-12 dada la infrecuencia del fenómeno. Este recurso permite una visión del viento desde la superficie, aún cuando las medidas de viento provengan de 10 m de altura. Existe una correspondencia. Más allá de esto los umbrales Beaufort mantienen un apego evidente a la fenomenología que nos ocupa en términos descriptivos. Se adapta muy bien a la descripción desde los sectores 2, 3 y 4.-

¿Qué observaciones van surgiendo de la experimentación en su conjunto?

Consistentemente con la tendencia de la información histórica se observan dos tipos de comportamiento tipo: uno que podría denominarse característico, vinculado a los vientos relacionados mayormente con todos los cuadrantes, con preponderancia a los cuadrantes cuatro y dos, y tres y uno, en orden decreciente de recorrido, con velocidades mayormente relacionadas a los intervalos 1-20 y 21-40 km/h.

En forma episódica se visualizan contribuciones que hacen dominante al Sector 2, co-ayudado por aportes del Sector 3, es decir vientos marinos cercanos, dotando al recorrido correspondiente de una magnitud llamativamente mayor, en virtud de la influencia de la intensidad de flujo fundamentalmente, que se inserta en los intervalos de 41-60 y 61-80 km/h. Estos ordenes de magnitud pueden promover un notable aumento de salinidad ambiente, claramente no lineal en su expresión. Existen series de interés analítico, en donde esta situación es manifiesta y sin embrago la presencia de una velocidad de deposición elevada no acompaña.

En general se observa que el aumento en los valores de velocidad de deposición de salinidad ambiente está relacionado a la estacionalidad, los episodios clasificados

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

como salinidad ambiente baja están asociados a las temporadas de primavera y verano, con un pasaje gradual por tenores intermedios (100-300 mg/m^2.día) que exhiben dos tipos de comportamiento diferente en el calculo del recorrido, según se trate de las estaciones primavera-verano (p.v) o bien otoño-invierno (o.i). La diferencia estaría dada por el (los) sector(es) desde los cuales se produciría el aporte sustantivo al recorrido.

Este avance en el tratamiento de la información nos está dando sugerencia de unificar algunas series sobre la base de contemplar dos grandes tendencias de los vientos cercanos:

- relación R2+R3/R4 del orden de 0.3
- relación R2+R3/R4 del orden de 0.5-0.8

Se muestra en las Figuras 16, 17 y 18, información gráfica de la cual se desprende la siguiente reflexión: la salinidad ambiente estaría aportada por la presencia de vientos marinos cercanos que comparten la permanencia con los vientos marinos lejanos, igualmente imbuidos de salinidad, pero paulatinamente despojados a través de los procesos de deposición seca a lo largo de su recorrido por el territorio. Este proceso parecería tener una relación incremental directa al aumentar la magnitud del propio recorrido, y el desplazamiento de sus componentes de aporte hacia velocidades de mayor intensidad. Estos comportamientos son típicos del verano y la primavera. Al cambiar la temporada, los vientos marinos cercanos se hacen presente con mayor contribución, dando ocurrencia a intervalos de salinidad ambiente caracterizadas por la presencia de un notable recorrido asociado al Sector 2, y en la región de más alta salinidad es altamente significativa también la contribución del Sector 3. El aporte de los vientos marinos lejanos se retrae apreciablemente en dichas ocasiones. Esto nos dice que los mismos podrían tener - cuando presente - un significativo efecto de dilución, dada su naturaleza, así como los provenientes del sector 1, cuya naturaleza y acción precisa está lejos de ser agotada en su comprensión.

Las figuras 18 y 19, ponen de manifiesto que más que al valor de recorrido total, que en términos medios es un criterio válido, el incremento de salinidad ambiente estaría más fuertemente vinculado al tipo y número de eventos en donde la velocidad del viento alcanza niveles en los intervalos 41-80 y 61-80 km/h, con preponderancia del aporte desde el Sector 2 y 3 respectivamente. Existiría un recorrido específico, caracterizado por ciertos umbrales de velocidad y duración del aporte, que dan cuenta del aumento no lineal de la velocidad de deposición de sal, ultrapasando los 300 mg/m^2.día, y que no necesariamente le hacen a un aumento radicalmente más alto de la cantidad de recorrido. El factor de influencia es de naturaleza cualitativa.

Se expone en la Tabla 2 un resumen de la información que estaría dando explicación de este incremento sustantivo, dando peso a las contribuciones del Sector 2 en el intervalo de velocidades 41-60 y 61-80 km/h, con una diversificación en la duración del tipo de evento, coayudado por un incremento del sector 3 fundamentalmente ligado a velocidades en el intervalo 41-60 km/h, concomitantemente con una atenuación de la participación de los vientos del Sector 4.

Por tanto esta sencilla información experimental nos dice de aproximarnos a cada serie en forma individual en la búsqueda de mayor profundización y hallazgo. La estacionalidad juega un claro rol que introduce diferenciación, existen claramente otros factores que no han sido tenidos en cuenta.

Existe una producción de salinidad hacia la atmósfera con tendencias estacionales, seguramente involucrada con procesos en el ciclo de la vida. La candela de salinidad,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

conjuntamente con el tratamiento de datos de viento, tienen aptitud para visualizar esta interesante dinámica.

Tabla 2

		frecuencia		tipo de evento	
		velocidad		velocidad	
sector	salinidad	41-60	61-80	41-60	61-80
2	100-300 p.v	4,21	0,41	1-6, 7-12	1-6
	100-300 o.i	6,56	0,51	1-6, 7-12, 19-24	1-6
	300-700	6,19	2,32	1-6, 7-12, 13-18, 25-50	1-6, 7-12
3	100-300 p.v	0,72	-	1-6	-
	100-300 o.i	0,72	0,1	1-6	1-6
	300-700	2,23	0,19	1-6, 7-12	1-6
4	100-300 p.v	8,44	0,31	1-6,7-12,13-18,19-24,25-50	1-6
	100-300 o.i	7,08	1,23	1-6, 7-12, 13-18, 25-50	1-6, 7-12
	300-700	6,58	0,77	1-6, 7-12, 13-18, 19-24, 25-50	1-6

¿Qué nos dicen los resultados sobre velocidad de corrosión?

En la tabla 1 se presentan los valores correspondiente a:

- varias series de un año, discriminadas según la estacionalidad del comienzo de la prueba
- la evolución del desgaste correspondiente al estudio de cuatro años consecutivos.

Es posible ver variabilidad en los valores de la velocidad al cabo de un año, cuya discusión escapa al alcance del presente trabajo. La función de ajuste probada, concordante con el criterio empírico, de que la corrosión atmosférica es asimilable a una representación de tipo potencial ($C = k\ t^{n}$, arroja un valor k = 399 g/m^2.año y n = 0.74, cc.0.9855); siendo k el valor calculado para la corrosión al cabo de un año, y n se vincularía con las características protectivas de los productos de corrosión formados sobre la superficie (Morcillo et al, 1998, pp. 644-651). Se ha observado en el conjunto de datos obtenidos en la experimentación de la red MICAT, para atmósferas de tipo PoSi según la categorización ISO 9223:1992, yace en el intervalo 0.58 -1,29 (Morcillo et al, pp.651) cubriendo una amplia gama de regiones, que incluye también las cálidas.

Cuanto mayor barrera impongan estos productos de corrosión, entonces más baja sería la velocidad al cabo de t_f años, por tanto n sería tan bajo como inhibitorio el proceso. En el caso que nos ocupa el valor encontrado se categorizaría como bajo si consideramos el intervalo de variación antes descripto, pero si consideramos la situación climática propiamente dicha y experiencias puntuales hechas en la región (Hughes et al, 1996) llegaríamos a la conclusión sobre el carácter poco protector de dichos óxidos, cuya superficie de nacimiento exhibe un potencial eléctrico activo a lo largo del tiempo experimental del orden de - 450 mV vs SCE en franca zona activa, alejada del nivel -250 mV que la literatura propone, desde medidas en laboratorio.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Desde una descripción muy cualitativa se indica que de forma muy interesante por un lado se encuentra la proliferación de óxidos vulnerables a lo largo del tiempo, con la aparición simultanea de núcleos aislados de productos de corrosión de extrema resistencia a su remoción, de coloración negra, que seguramente nos dice que es posible llegar a condiciones de interfase en donde sería posible dar crecimiento a una costra de propiedades notables. Este comportamiento ha resultado llamativo a la hora de la operación en el laboratorio de análisis y nos habla de la co-existencia de factores inhibitorios y otros de tipo estimulantes, que co-accionan en forma que - en principio - llamaremos azarosa, en acuerdo con formulaciones teóricas que Morcillo propusiese en 1983. Con relación a la experiencia llevada a cabo en Punta del Este y en términos relativos, es posible afirmar que la Corrosión es notablemente más intensa en este sitio Antártico, que en la región marina sub-tropical que hemos caracterizado paralelamente, lo cual introduce interesantes interrogantes y nos habla eventualmente de un fenómeno un tanto más complejo.

Conclusiones sumarias

- La relación que vincula el viento con la concentración de aerosol marino es compleja
- Existen diferentes combinaciones de parámetros meteorológicos, incluyendo la velocidad del viento, capaces de dar el mismo resultado numérico de velocidad de deposición
- La candela de salinidad ambiente es un sensor apropiado para visualizar y estudiar el fenómeno
- Existe una clara influencia de vientos marinos cercanos, con aportes desde el sector 2 y el 3, que dan cuenta de los valores de salinidad atmosférica comprendidos entre 100-300 y 300-700 mg/m2.día, para las temporadas de otoño e invierno, con una relación de recorridos $(R_2+R_3)/R_4$, situable entre 0.5-0.8 para cada intervalo de salinidad expresado respectivamente.
- Existe una clara influencia de vientos marinos lejanos y contribuciones de vientos marinos cercanos, en una relación $(R_2+R_3)/R_4$ situable en 0.3, que dan cuenta de los valores de salinidad atmosférica comprendidos entre 50-300 mg/m^2.día, para las temporadas de primavera y verano.
- Se verifica que la salinidad ambiente trasciende de 50-300 a 300-700 para saltos en la velocidad del viento en la escala Beaufort de 1-20, 21-40 km/h a 41-60, 61-80 km/h, mostrando una relación no lineal, en franco acuerdo con los trabajos de Woodcock (1953).
- Se propone que el umbral de 300 mg/m^2.día, que la norma ISO 9223:1992 orienta para dar lugar a la categoría de salinidad ambiente conocida como S_3 estaría relacionado con interacciones océano - atmósfera de naturaleza similar, en la presencia de fenómenos eólicos de intensidad 41-60 km/h y 61- 80 km/h en dicha escala, en donde el fenómeno de transferencia de masa tendría cierta característica de similitud; en este caso se identifica una frecuencia relativa no menor al 6 % y 2 % para el Sector 2, tipificado por una duración de los flujos de tipo 1-6, 7-12, 13-18 y 25-50 h y 1-6, 7-12 respectivamente, en ambos tipos de contribución; concomitantemente con el aporte incremental de vientos en el intervalo 41- 60 km/h provenientes del Sector 3 con una frecuencia del orden del 2 %, caracterizada por una duración del flujo de tipo 1-6, 7-12 h, en ambos casos marinos cercanos, en la convergencia en esta zona fría, sin desmedro de que se diluciden otros mecanismos de diferente naturaleza en otras circunstancias. El presente trabajo advierte sobre la necesidad de dar estudio específico a cada caso y de visualizar al viento en forma más amplia.
- La Corrosión del sitio es convalidable a una categoría C_4 para el primer año de exposición, siendo alta en términos relativos. Los valores de velocidad anual de corrosión se sitúan en el intervalo 500-900 g/m^2.año para diferentes series; este

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

valor se modifica declinando, a medida que aumenta el tiempo de exposición hacia valores del orden de 300 mg/m^2.año, lo que se traduciría en una atenuación de la velocidad de desgaste, entre 1.66 - 3. La durabilidad estaría condicionada por una serie de hechos de naturaleza compleja.

- Si bien para el incremento de la magnitud de la velocidad de deposición de salinidad ambiente existiría una relación estacional, con ciclos interanuales, para la magnitud de la velocidad de corrosión al cabo de un año existiría un devenir más complejo e inherente a una serie de procesos en donde interviene un mayor número de variables.

Agradecimientos

Se agradece la amable colaboración del Ms. Sc. Met. Mario Bidegain, Facultad de Ciencias UdelaR, DNM, por sus amables contribuciones, así como el suministro de material de apoyo consecuentemente, así como al Dr. José Cataldo, FI, UdelaR, especializado en viento y al Dr. Christopher Leygraf, del Royal Institute of Technology, KTH, Suecia, por sus aportes y observaciones. Se reconoce asimismo el apoyo logístico brindado por el IAU-MD, así como el suministro de información puntual proveniente de la base científica antártica aledaña King Sejong, que han hecho posible contar con datos locales de forma de ir dando sucesivos avances al interesante tema.

Referencias

- Aitchinson J., Brown J.A.C., "The log normal distribution", Cambridge University Press, Cambridge, 1957

- Beaufort Scale, http://www.metoffice.com/education/historic/beaufort.html; http:// www.crch.noaa.gov/lot/webpage/beaufort

- Bidegain M., Curso de Climatología, Componente de circulación del clima, FC, UdelaR, 2003

- Blanchard D.C., Woodcock A.H., "The production, concentration, and vertical distribution of the sea-salt aerosol", Ann. NY.Acad.Sci.338, 1980, 330-347

- Blanchard D.C., Woodcock A.H., "Bubble formation and modification in the sea and its meteorological significance", Tellus, 9(2), 1957, 145-158

- Boucher O., L'Influence climatique des aérosoles", La météorologie 8va Série, 17,1997

- BS 1747: Part 4:1963, "The measurement of air pollution", Part 4, The lead dioxide Method, British Standard Institution

- Erikksson E., "The yearly circulation of chloride and sulphur in Nature; Meteorological, Geochemical and Pedological Implications. Part I, Tellus, 11 (4), 1959, 375-403; Part II, Tellus, 12(1), 1960, 63-109

- Feliu S., Morcillo M., Chico B., "Effect of distance from sea on atmospheric corrosion rate", Corrosion, 55(9), 1999, 883-890

- Fitzgerald J.W., "Review Article, Marine aerosol: A Review", Atmospheric Environment, 25 A (3/4), 1991, 533-545

- Gautier A., "Quantité maximum de chlorures contenus dans l'air de la mer", Bull.Soc.Chem, Paris, 3 (21), 1899, 391-392

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- ISO/DIS 8407:1992, "Procedures for removal of corrosion products from corrosion tests specimens",

- ISO 9223: 1992, "Corrosion of Metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification", Geneve.

- ISO 9225:1992, "Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution", Geneve.

- ISO 9226:1992, " Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres- Determination of Corrosion Rate of Standard Specimens for the Evaluation of Corrosivity", Geneve.

- Kientzler C.F., Arons A.B., Blanchard D.C., Woodcock A.H., "Photographic investigation of the projection of droplets by bubbles bursting at a water surface", Tellus, 6(1), february 1954, 1-7

- Mc Donald R.L., Unni C.K., Duce R.A., "Estimation of Atmospheric sea salt dry deposition:wind speed and particle size dependence", Journal of Geophysical Research, 87 (C2), february 20, 1982, 1246-1250

- Morcillo M., Almeida E., Rosales B., Uruchurtu J., Maroco M., Eds., "Corrosión y Protección de metales en las atmósferas de Iberoamérica, Parte I- Mapas de Iberoamérica de Corrosividad Atmosférica", CYTED, Madrid, 1998

- Morcillo M., Chico B., Mariaca L., Otero E., "Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site", Corrosion Science 00, 1999, 1-14

- Morcillo M., Almeida E., Rivero S., Rosales B., Joseph G., NACE, Northern Region, Cold Climate Corrosion, Hilton Hotel, Anchorage, february 2001, paper CldCli09

- Morcillo M, Chico B., de la Fuente D., Almeida E., Joseph G., Rivero S., Rosales B., "Atmospheric Corrosion of reference metals in Antartctic sites", Elsevier, Cold Regions Science and Technology, 40, 2004, 165-178

- Ohba R., Okabayash K., Yamamoto M., Tsuru M., "A method for predicting the content of sea salt particles in the atmosphere", Atmospheric Environment 24 A(4), 1990, 925-935

- Preining O., "Aerosol and climate - An overview", Atmospheric Environment 25ª(11), 1991, 2443-2444

- Rivero S., Quagliata E., Díaz V., Morales L., "13th International Corrosion Congress", Melboure, Australia, 1996, paper 033

- Rivero S., Krecl P., "Salinity flowing in the wind", 15th International Corrosion Congress, Granada, España, 2002, trabajo 650

- Rivero S., "Corrosión Atmosférica. La salinidad y el viento", III Encuentro Regional de Ingeniería Química, Sheraton Hotel, Uruguay, Octubre 2003 a, trabajo 43

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Rivero S., "La Ciencia y los Paradigmas", III Encuentro Regional de Ingeniería Química, Sheraton Hotel, Uruguay, Octubre 2003 b, trabajo 47

- Sreakalov P.V., Panchenko Yu.M., "The role of Marine Aerosols in Atmospheric Corrosion of Metals", 30,3, 1994, 254-263

- Sreakalov P.V., "Wind regimes, chloride aerosol particle sedimentation and atmsopheric corrosion of seteel and cooper", Protection of Metals, 24 (5), Sep-Oct. 1988, 630-641

- Toba Y., "On the gigant sea-salt particles in the atmosphere I. General features of the distribution", Tellus, 12 (1), 1965, 131-145

- Tsay Si-Chee, Stephens G.L, Greenwald T.J, "An investigation of aerosol microstructure on visual air quality", Atmospheric Environment 25ª, 1991, 1039-1053

- Twomey S., "The compostion of hygroscopic particles in the atmosphere", Journal of Meteorology, 11 (August),1954, 334-338

- Vernon W.H.J., "A laboratory study of the atmospheric corrosion of metals", Part III.- The secondary product of rust (Influence of sulphur Dioxide, Carbon Dioxide, and suspended particles on the rusting of iron"), Trans. Faraday Soc., 1931, 1678-1700

- Woodcock A.H., Kientzler C.F., Arons A.B., Blanchard D.C., "Giant condensation nuclei from bursting bubbles", Nature, December 19, 1953, 1144-11145

- Woodcock A.H., M.H.Gifford, "Sampling Atmospheric sea-salt nuclei over the ocean", Journal of Marine Research, 8(2), 1949, 117-197

- Woodcock A.H., "Slat nuclei in marine air as a funtion of altitude and wind force", Journal of Meteorology, 10, October 1953, 362-371

Apéndice de imágenes y gráficos

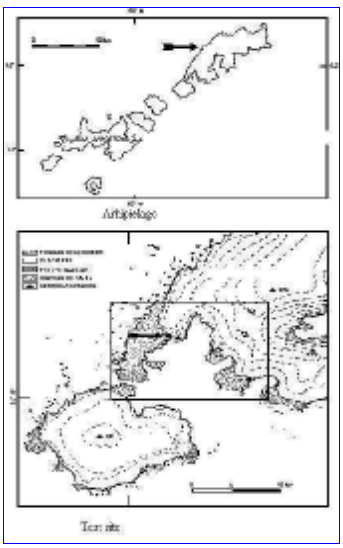


Figura 1a: Sitio

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

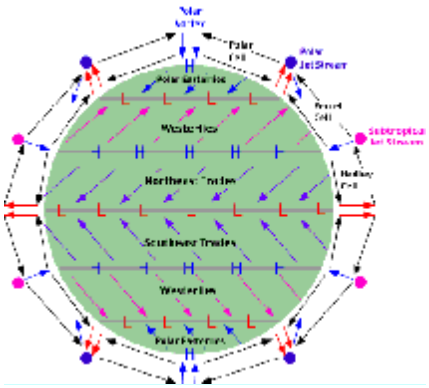


Figura 1b: Circulación general en superficie y en altura, gentileza Bidegain (2003)

Figura 2: Candela húmeda

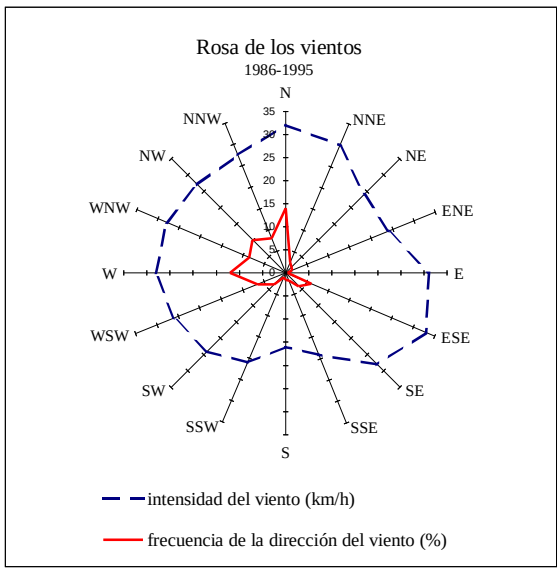


Figura 3

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

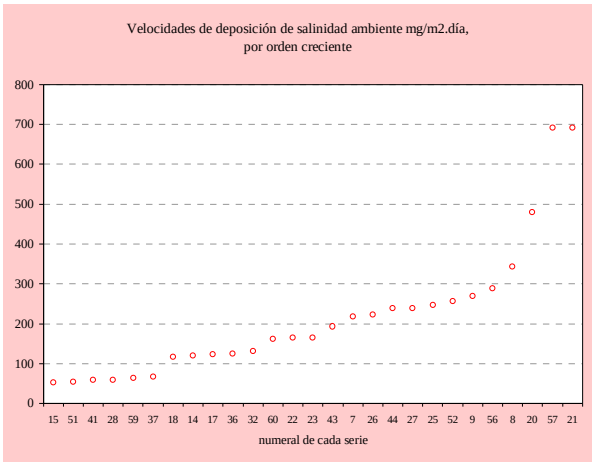


Figura 4a

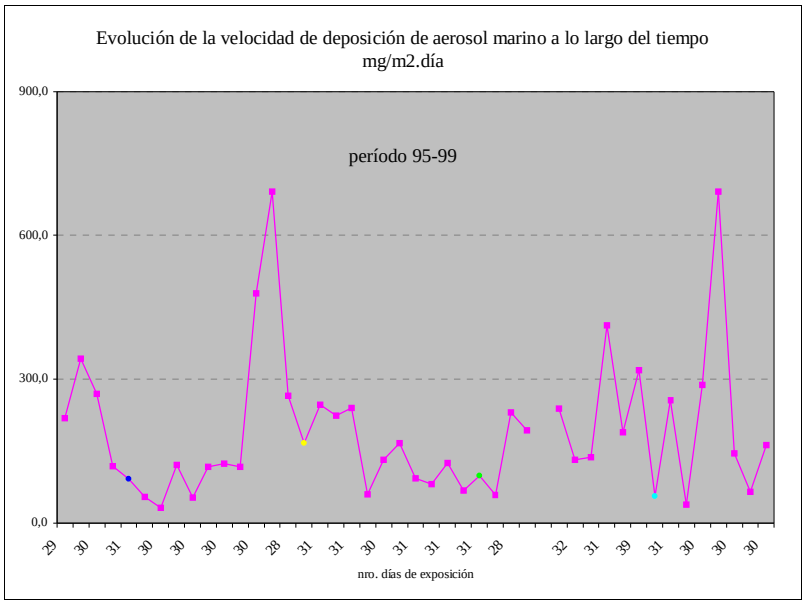

Evolución de la velocidad de deposición de aerosol marino a lo largo del tiempo
mg/m2.día
900,0
600,0
300,0
0,0
período 95-99
29 30 31 30 30 30 30 28 31 31 30 31 31 31 28 32 31 39 31 30 30 30
nro. días de exposición

Figura 4b

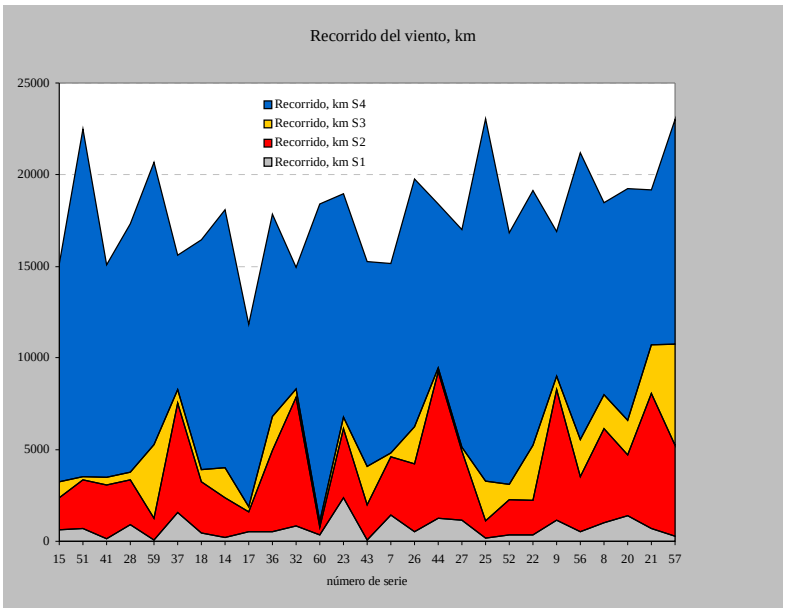

Recorrido del viento, km
25000
20000
15000
10000
5000
0
Recorrido, km S4
Recorrido, km S3
Recorrido, km S2
Recorrido, km S1
15 51 41 28 59 37 18 14 17 36 32 60 23 43 7 26 44 27 25 52 22 9 56 8 20 21 57
número de serie

Figura 5

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

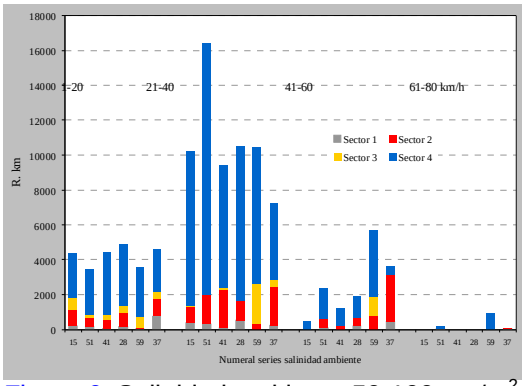


Figura 6: Salinidad ambiente 50-100 mg/m^2.día

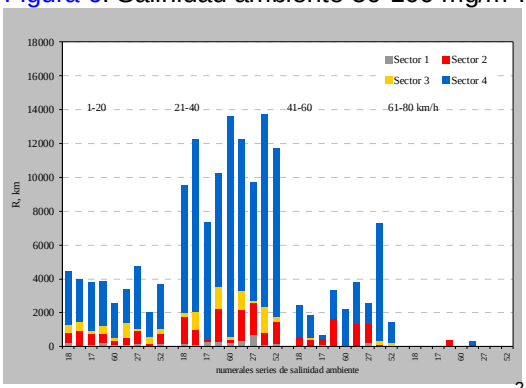


Figura 7: Salinidad ambiente 100-300 mg/m^2.día (primavera.verano)

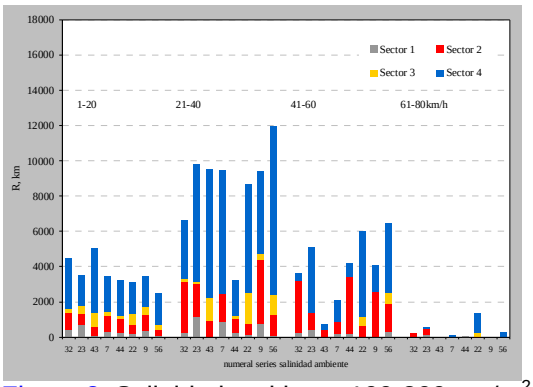


Figura 8: Salinidad ambiente 100-300 mg/m^2.día (otoño-invierno)

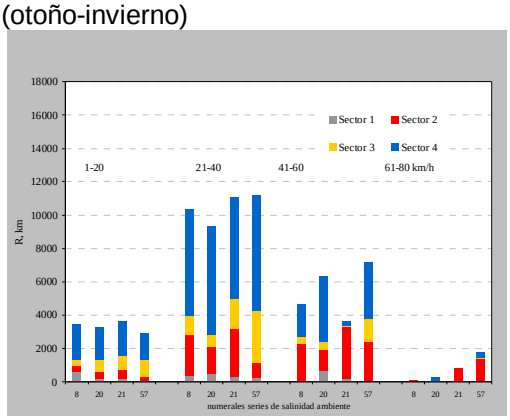


Figura 9: Salinidad ambiente 300-700 mg/m^2.día (otoño-invierno)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

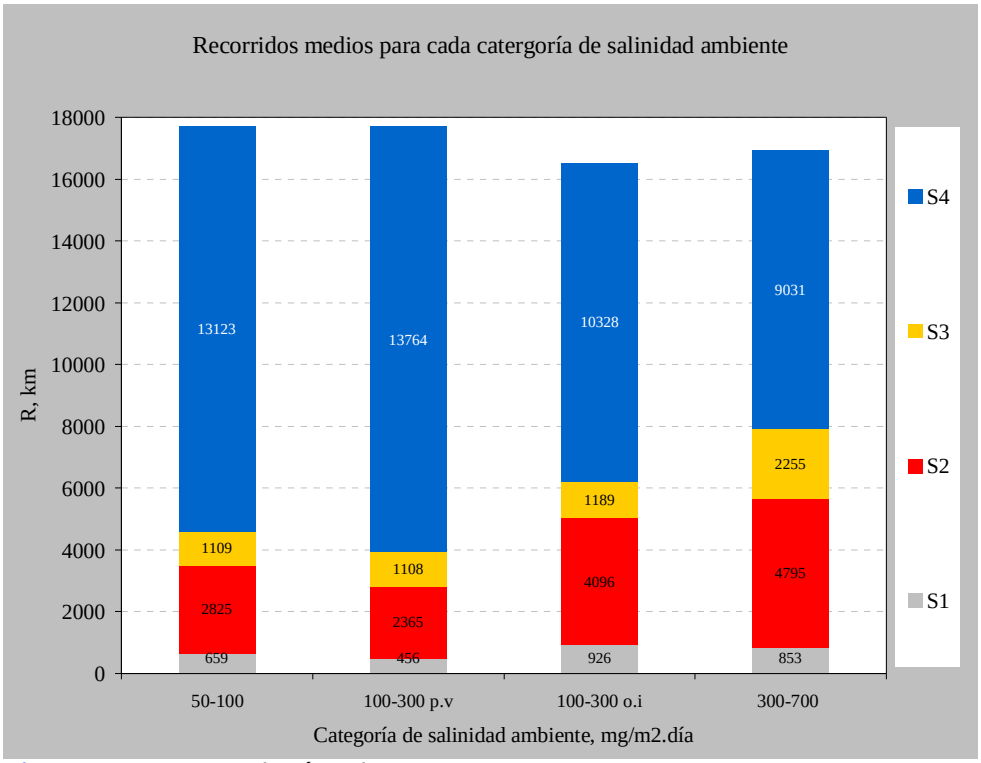


Figura 10: Esquema de síntesis

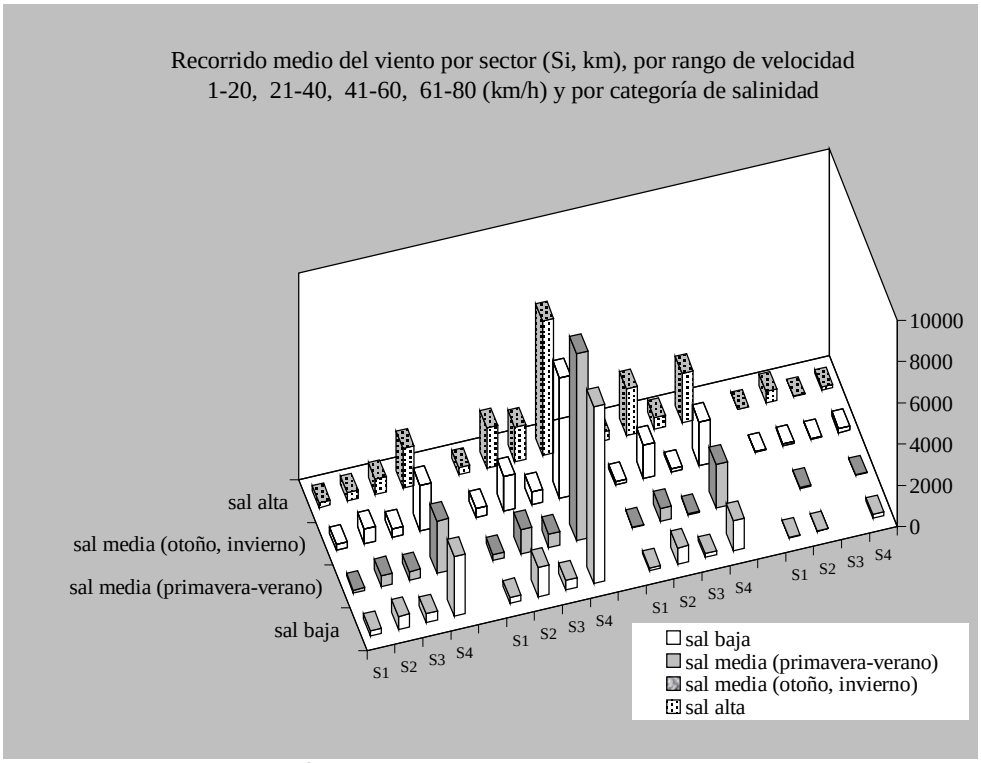


Figura 11: Esquema de síntesis

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

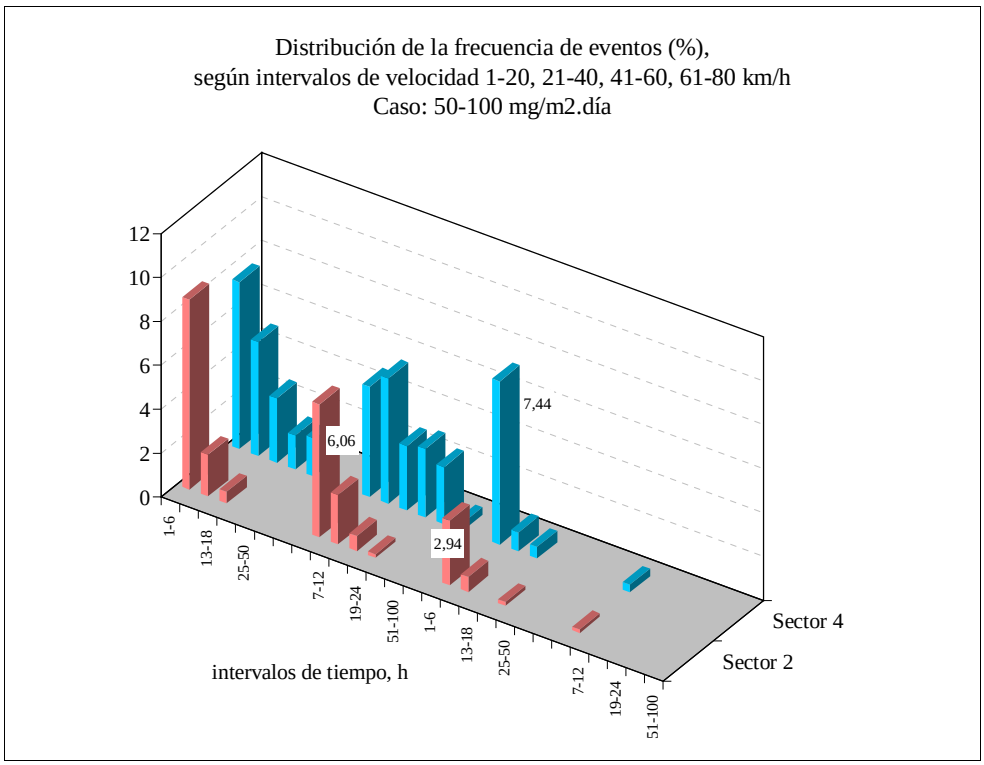


Figura 12: Comparación de sectores 2 y 4.

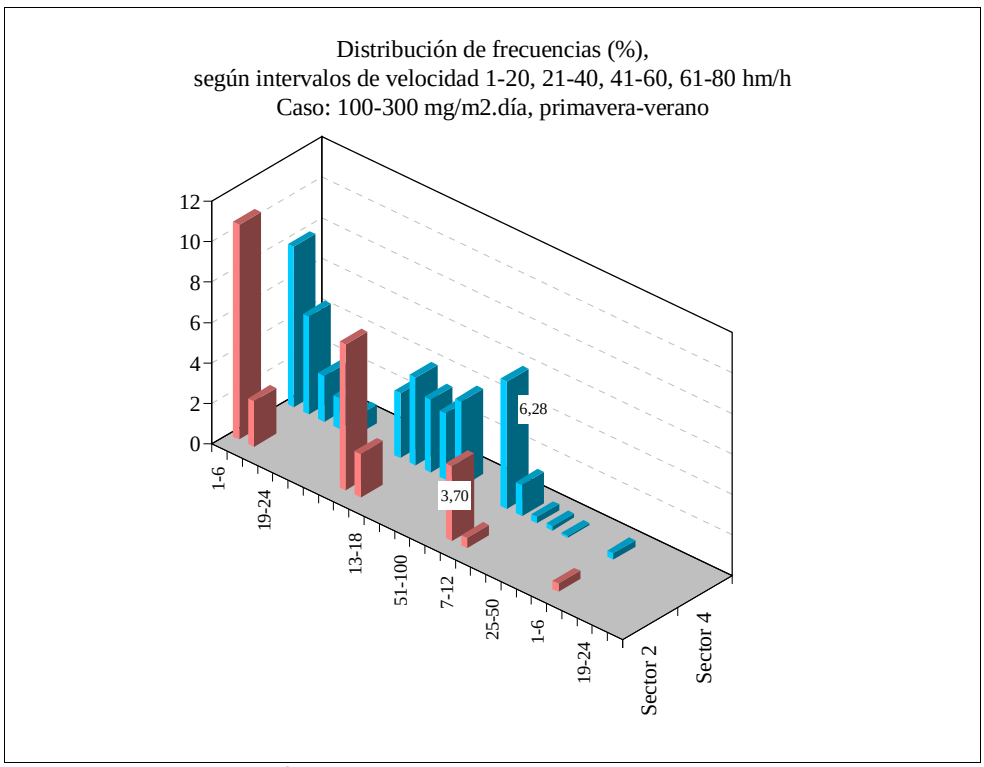


Figura 13: Comparación entre sectores 2 y 4.-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

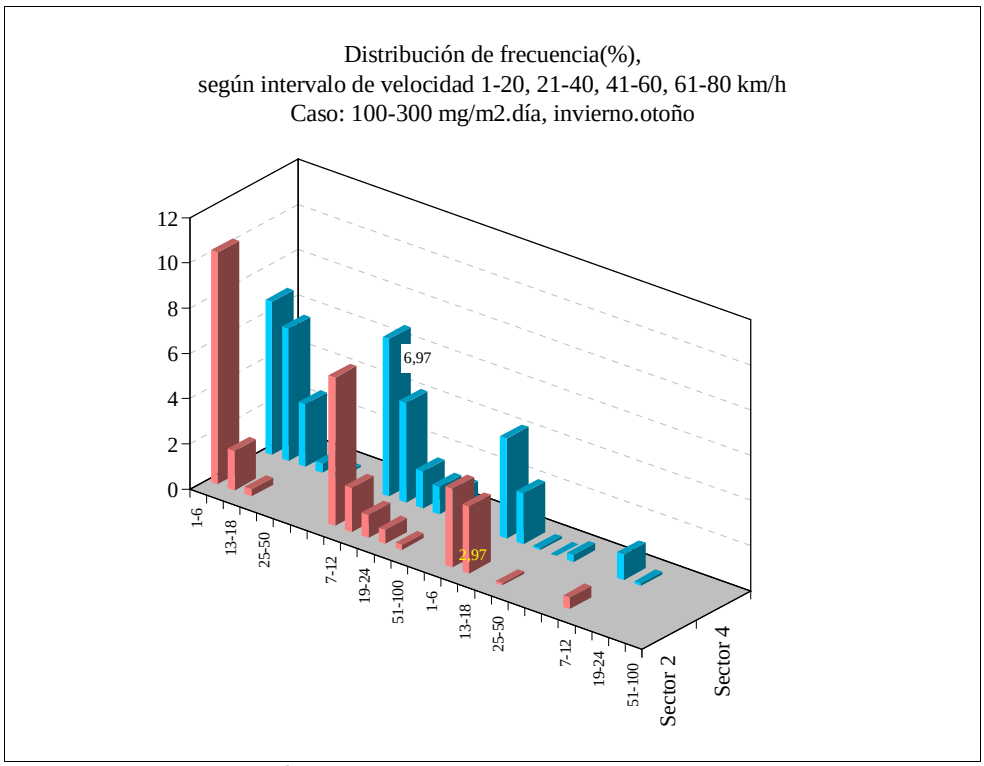


Figura 14: Comparación entre sectores 2 y 4.-

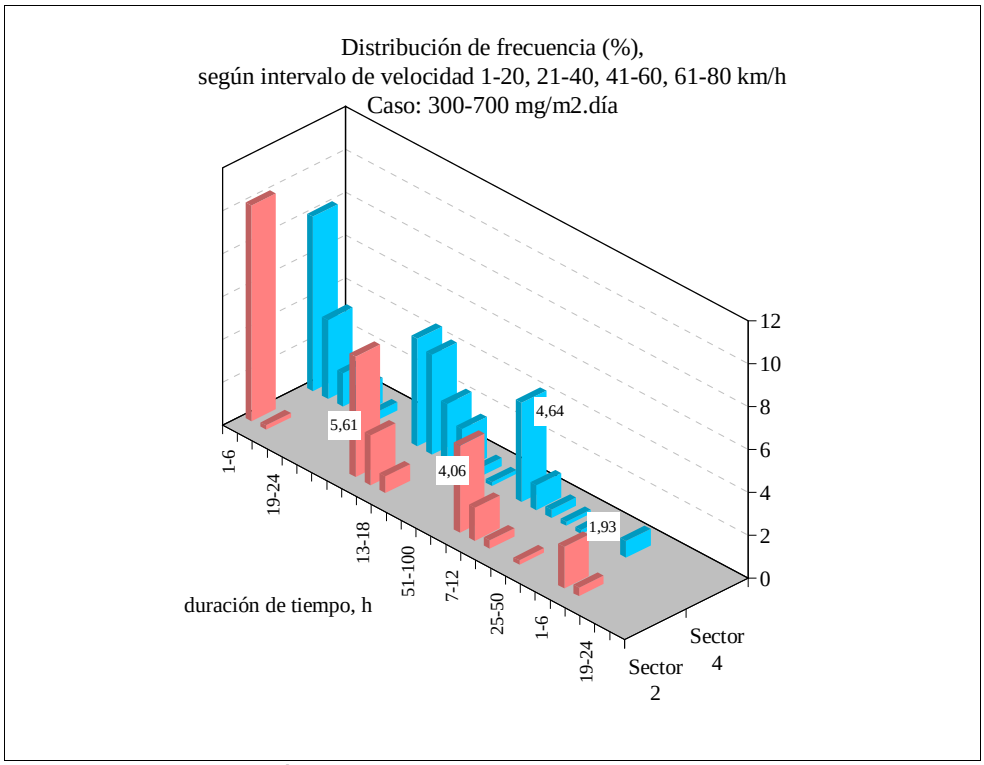


Figura 15: Comparación entre sectores 2 y 4.-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

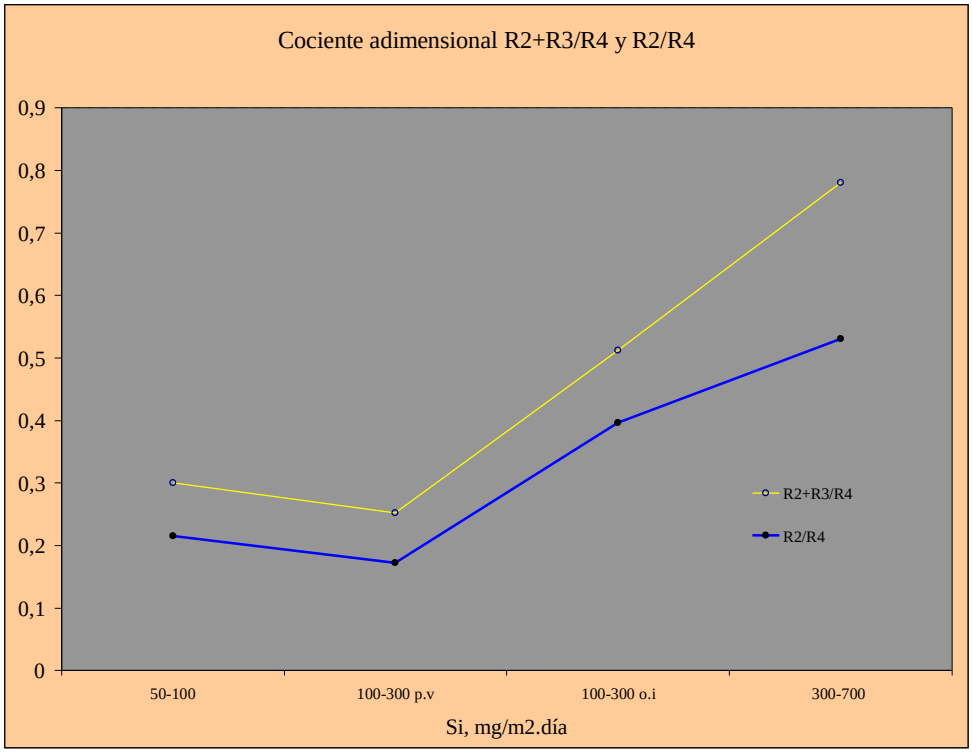


Figura 15: Relaciones entre sectores

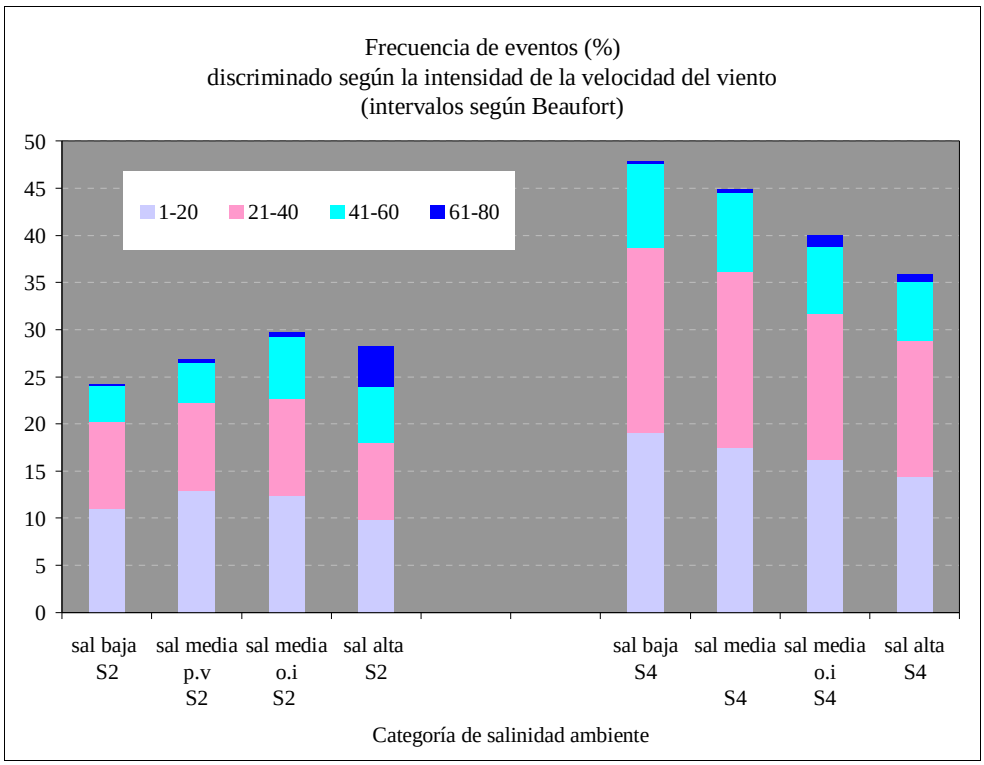


Figura 16

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

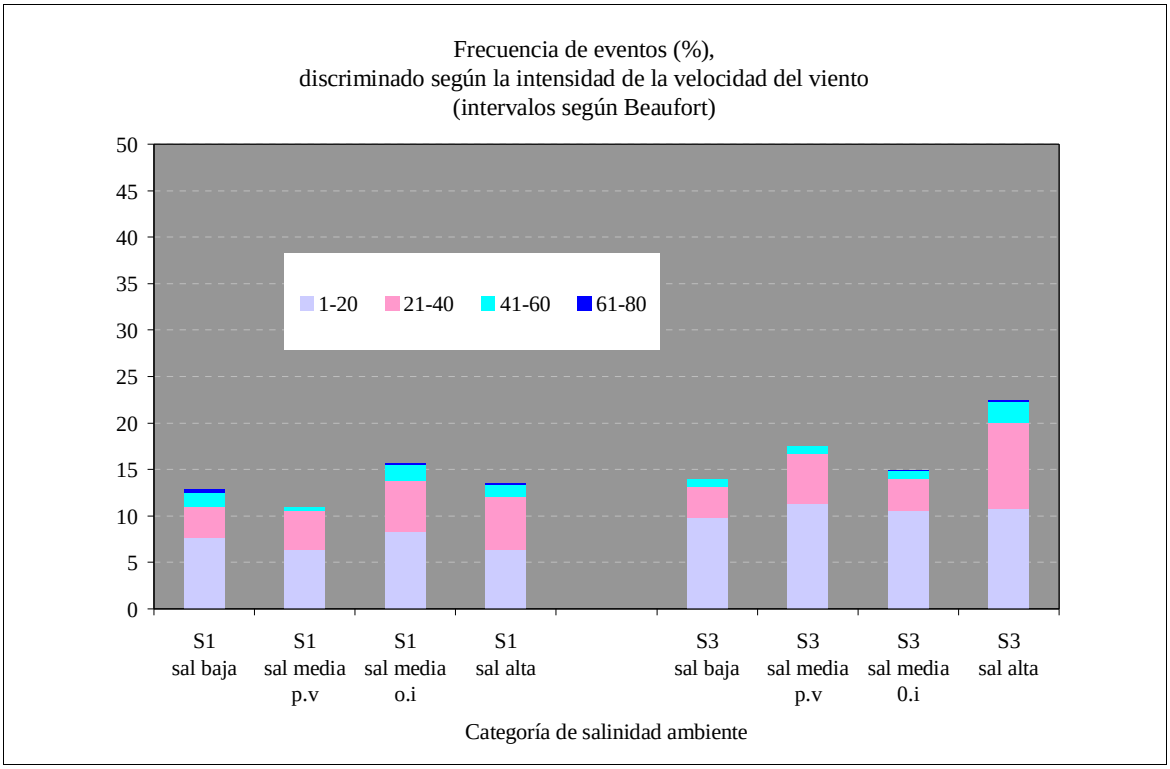


Figura 17

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com